

이그루 탄약고 결로문제 해결에 대한 물리적 고찰 (내부온도를 높여서 상대습도를 낮추는 방안에 대하여)

A Physical Study on the Dew Problem of Igloo Type Military Magazine

이 성 태*

Lee, Sung-Tae

ABSTRACT

The compact storage of ammunitions in magazine causes serious dew problem on the surface of the shell. Lots of previous studies try to solve this problem by increasing the temperature of air in military magazine. They tried to reduce relative humidity by increasing the temperature of air, but all of them failed. One of the major reasons of these failures is analysed based on the point of view of physics.

주요기술용어(주제어) : Relative Humidity(상대습도), Igloo Type Military Magazine(이그루 탄약고)

1. 머리말

현재 한국군이 탄약의 저장과 관련된 부분에서 외국에 비해서 열악한 환경에 처해 있는 상황이다. 작은 국토의 나라이면서도 많은 탄약을 보유해야 하고 저장해야 하며, 지가와 건축비가 높은 경제적인 환경에 의하여 많은 탄약고를 지어서 운영하는 것이 어렵기 때문이다. 또한 저장되는 탄약은 고가의 물건이다. 이러한 어쩔 수 없는 상황에서는 작은 공간의 탄약고에 많은 탄약을 저장하여야 하며, 이렇게 저장되는 공간에서는 결로문제가 발생하게 된다.

지하공간에서의 결로문제에 대한 연구 및 일반 건축물에서의 결로에 대한 관심과 연구는 오래전부터 시작되었으나, 한국에서의 이그루 탄약고의 결로문제에 대한 연구는 1996년 “이그루 탄약고의 결로 현상

에 관한 원인 및 대책연구”에서부터 시작되었다. 이러한 연구는 이그루 탄약고에 저장되어 있는 탄약의 상대습도 증가에 의한 부식의 급격한 발생과 결로에 의한 불량탄의 발생을 막아 군의 전투력 측면에도 도움이 되며, 탄약고의 유지비를 고려할 때 경제성에도 도움이 될 것으로 판단된다.

1996년부터 현재까지 약 10년간의 연구 기간동안에 발표된 논문과 연구보고서를 보면 대부분의 결론이 탄약고 내부의 온도를 높여서 상대습도를 떨어뜨리는 것을 첫째 해결방안으로 제시하고 있다. 또한 이러한 해결방안을 효과적으로 하기 위해서는 단열을 기본적으로 증가시켜 열의 방출을 최소화 하고자 하였다.

본 논문에서는 이러한 탄약고 결로문제의 해결방안으로 그동안 제시되었던 내부의 온도를 높이는 것이 얼마만큼의 열량이 필요하고 그러한 열량을 획득하는 것이 얼마만큼 어려운가에 대해 구체적으로 제시하고자 한다.

† 2005년 7월 21일 접수~2005년 9월 9일 게재승인

* 육군사관학교(Korea Military Academy)

주저자 이메일 : stlee@kma.ac.kr

2. 이그루 탄약고에 대한 열 환경

탄약고는 일반 주택과는 다른 시기에 결로문제가 발생한다. 일반주택의 결로는 겨울에 주로 발생하며, 이때의 열환경을 보면 외부는 저온건조한 공기가 있고 주택 내부가 고온다습한 공기가 있는 경우이다. 외부와 연결된 벽체는 단열이 약한 경우에는 벽체 내부 표면이 저온이 되며 이 저온의 표면에 실내의 고온 다습한 공기가 접촉하여 결로가 발생한다. 그러나

탄약고의 경우에는 결로가 여름에 주로 발생하며, 이때의 열환경을 보면 외부에 고온다습한 공기가 있고 내부가 저온의 탄약이 있는 경우이다. 이때 외부의 고온 다습한 공기가 통풍체계에 의하여 유입되면 내부에 있는 저온의 탄피와 벽체에 접촉하여 표면결로가 발생하는 것이다.

그동안 탄약고의 열 환경에 대해 연구한 결과를 종합하여 좀더 자세히 살펴보면 아래 표와 같다. 이 자료는 탄약고의 결로가 발생하는 하절기에 대한 자료

[표 1] 여러 연구에서 측정된 탄약고 내부의 온도 및 상대습도

측정시기	측정위치	온도(℃)	습도(%)	조건	참고 문헌
6월~8월	출입문 옆 1.5m 높이	25.3	90이상	월평균	#1
	내부중간부분 10cm 높이	22.7	90이상	월평균	#1
	뒤편벽면 가운데 10cm 높이	21.4	90이상	월평균	#1
	바닥표면, 지중 0.3m	21.8		수치해석 결과	#1
여름철	외부온도	25~30			#2
	내부온도	15~19			#2
	내부벽체	10			#2
6.30~8.30	측벽중앙		85이상	다양한 환경조건(선풍기, 통기구 개폐, 우레탄 설치/미설치), 연속그레프 획득, 외부습도는 59%인 경우 포함	#2
7.3~7.5	내부 평균	21.77	87	밀폐	#3
7.6~7.9	내부 평균	21.68	83	밀폐 및 제습기 가동	#3
	실내	21.72		밀폐 및 제습기 가동	#3
	벽체	21.09		밀폐 및 제습기 가동	#3
	탄피	21.9		밀폐 및 제습기 가동	#3
	내부 평균	21.5	93.1	흡입구 개방, 우각부가 2~3℃ 낮음	#3
7.17~7.18	내부 평균	21.12	88.07	흡입구 일부 폐쇄	#3
7.23~7.24	내부 평균	21.49	92.68	흡입구 일부 개방	#3
7.22~7.23	내부 평균	21.44	90.23	흡입구 폐쇄	#3
7.14~7.24	실내의 온도11점, 습도4점 벽체온도37점, 탄피온도8점	21.25	93.12	벽2개소, 출입문2개소의 자연배기, 호리고 비, 내부평균	#4
"	"	21.12	88.07	벽 2개소 자연배기, 맑음	#4
"	"	21.49	92.26	출입문 2개소, 호리고 비	#4
"	"	21.44	90.23	밀폐, 맑음	#4
"	수직온도 분포	18~23		낮은 곳은 18℃, 높은 곳은 23℃	#4

이며, 결로가 없는 동절기에 대한 자료는 생략한다.

#3 연구에서는 외부온도변화는 약 10℃의 일정한 주기를 갖으나 내부온도는 변화가 없이 일정하다고 기술하고 있으며, 새벽에는 외부 온도가 더 낮은 경우도 발생함을 측정하였다. 또한 내부는 습도 변화도 거의 없는 것으로 측정되었으며, 내부의 온도는 측정 위치별로 4℃ 정도 차이가 나는 것으로 나타났다. #4 연구에서는 특이하게 수직온도 분포를 여러 조건에서 측정하였는데 온도의 수직분포는 실험조건과 거의 무관하게 낮은 곳은 18℃ 높은 곳은 23℃를 유지하는 것으로 측정되었다.

위에서 살펴본 기존의 연구 결과를 종합하여 보면 이그루 탄약고 내부의 온도는 실험조건과 측정일자 그리고 연구자에 관계없이 18℃에서 23℃의 분포를 나타내고 있으며 대부분의 경우 약 21℃로 측정되었다. 단지 출입문의 환기구 근처에서 25.3℃로 측정된 경우가 한번 있고, #2번 연구의 경우는 15℃에서 18℃의 온도로 측정되어 다른 연구에서 보다 더 낮게 측정되었다. 이와 같이 탄약고의 내부온도는 환기구의 개폐정도, 제습기의 사용 및 선풍기의 가동, 밀폐 등 다양한 조건에서도 일정하게 약 21℃ 정도를 나타낸다고 결론을 지을 수 있다.

3. 이그루 탄약고의 질량분포 및 온도를 높이는데 필요한 열량

탄약고 내부의 온도가 다양한 조건과 열원(제습기 또는 선풍기)의 사용에도 불구하고 일정한 이유를 물리적으로 분석하여 보았다. 이러한 분석을 위해서 탄약고 내부에 있는 온도 변화의 주체를 먼저 고려하여

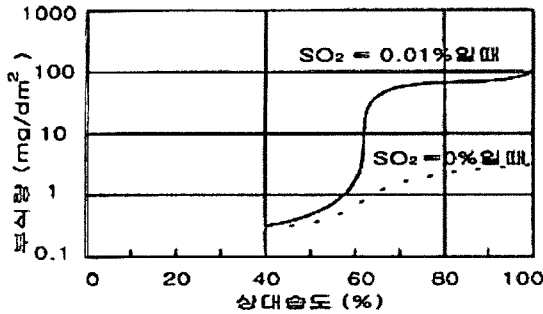
야 한다. 탄약고의 온도를 약 21℃로 유지하고 있는 물체는 약 200kg 이하의 공기(700m³ 내의 공간에 70%가 탄약에 의하여 채워지고 약 30%의 공간이 공기인 경우)와, 질량이 약 700ton의 탄약과 또 질량이 약 584ton의 콘크리트(탄약고 날개부분에 사용되는 콘크리트 질량 제외), 그리고 약 22ton의 철근이다. 이러한 질량이 장기간의 열량의 유입과 유출에 의한 열적평형이 획득되는 온도가 탄약고 내부에서 21℃가 되었고, 또한 여름철의 장기간의 열량의 유입 유출에 의한 평형이 유지가 되는 상황이기 때문에 탄약고 내부의 온도는 약 21℃에서 정지된 상태와 같아지게 된 것이다. 여기서 총 1,300ton의 질량의 온도를 1℃ 높이기 위해 필요한 열량(Q값)을 계산하여 보았다. 계산의 근거는 표 2에 나타난 것과 같이 탄약고 내부의 온도를 유지하는 중요 질량의 크기와 비열을 고려한 것이다.

이와 같은 계산에 의하면 탄약고 내부의 온도를 1℃ 높이는 것은 작게 계산하여도 약 23만kcal의 열량이 필요하며 이러한 정도의 열량을 획득하기 위해서는 1kW(0.24kcal/s=864kcal/h) 전열기로 계산할 때 10시간동안에 1℃를 올리기 위해서는 26.3대가 필요하다.

탄약고의 경우 결로가 발생하는 것을 방지하는 것도 중요하지만 결국에는 습도에 의한 부식의 방지가 목적인 점을 고려할 때 탄약고 내부의 상대습도는 60% 이하로 유지하는 것이 바람직하다. 왜냐하면 그림 1에 나타난 바와 같이 탄약의 부식은 상대습도 60%를 넘으면 급격하게 증가함을 알 수 있기 때문이다^[5]. 이러한 자료를 바탕으로 할 때 탄약고 내부의 상대습도는 부식 방지를 위해서 60%이하로 유지할 것을 제안한다. 이와 같은 관점에서 볼 때 21℃ 90%

[표 2] 탄약고 내부 물질들의 질량분포(63평형 이그루 탄약고의 표준설계도를 기준)

물질	질량	비열	Q값(kcal/℃)	참고사항
공기	200kg	250cal/kg℃	50	탄약고 내부 700m ³ 의 약 30%
탄약	700ton	112cal/kg℃	78,400	철의 비열을 사용
콘크리트	584ton	250~300cal/kg℃	146,000	254m ³ , 2.3ton/m ³ 를 기준
철근	21.8ton	112cal/kg℃	2,442	철의 비열을 사용
합계	1,306ton		226,892	



[그림 1] 상대습도에 따른 부식량

의 상대습도를 갖는 공간을 상대습도 60%로 내리기 위해서는 온도를 28℃로 올려야 하며 약 7℃의 온도 상승을 필요로 한다. 현재 탄약고의 경우 이와 같이 탄약의 부식을 방지하기 위해서는 7℃의 온도를 높여야 하며 이것을 위해서는 1kW 전열기 184대가 필요하다.

이때 공기의 온도만을 올리면 된다고 생각할 수도 있으나 탄약고 내부의 공기는 대류를 하고 있으며, 저온의 탄피와 바닥 그리고 벽에 접촉을 하고 있기 때문에 공기만의 온도를 순간적으로 올릴 수는 있어도 보관 기간이 장기간인 경우에는 위에서 계산된 열량을 공급하여야 한다. 여기서 계산된 열량은 단순히 탄약고가 완전한 단열을 획득한 닫힌 계로 본 계산 결과이나 실제로는 탄약고와 지하의 땅이 접촉하고 있기 때문에 더욱 탄약고 내부의 온도를 높이는 것은 많은 열량이 필요하며, 자연적이고 지속적인 열량의 유입이 충분하지 않는 상태에서 인위적으로 열량을 공급하는 것은 상당히 어려운 일이며, 또 경제적으로도 타당성이 없다는 판단을 할 수 있다.

또한 이러한 계산결과는 탄약고의 환기 체계를 통하여 전달되는 열량의 양이 단위 시간 당 어느정도 이상이 되는 경우에 환기를 시켜야 하고 어느 정도 이하인 경우에는 환기를 통제하여야 하는 가에 대한 기준을 제시하였다고 본다.

위에서 언급된 내용들을 종합하여 판단할 때, 탄약고 내부의 온도를 높여서 탄약고 내부의 상대습도를 낮추려는 노력은 비용 대 효과를 고려할 때 무모한 시도일 수 있으며 더욱이 인위적인 열량의 공급에 의한 시도일 경우에는 더욱 그러하다고 판단된다.

4. 맺음말

본 연구는 기존의 연구들에서 탄약고 결로문제를 파악하고 해결하기 위해 제시한 탄약고 내부온도를 높여서 상대습도를 낮추려는 시도에 대하여 물리적인 관점에서 접근하여 본 것이다.

탄약고 내부에는 물리적으로 매우 큰 질량을 갖는 물질들이 열 전달관계를 갖고 보관되고 있기 때문에 이들의 온도를 1℃ 높이기 위해서는 약 23만kcal가 필요하다는 것을 계산하였다. 또 이러한 물질들과 접촉하며 존재하는 탄약고 내부의 공기의 상대습도를 낮추기 위해서 탄약고 내부 공기만의 온도를 높이는 것이 실질적으로 어려우며, 경제적으로 볼 때도 효과가 거의 없다고 판단하게 되었다. 또한 이러한 거대한 질량을 갖는 물질들이 땅(지하)과의 열 전달관계가 장기간 연결된 상태에서 도달한 열적 평형 상태를 인위적으로 변경시키는 것 또한 매우 어려운 일이라는 결론에 도달하게 되었다.

따라서 앞으로 있을 이그루 탄약고의 결로문제 해결을 위한 연구 방안에서는 탄약고 내부의 온도를 높여서 상대습도를 낮추고자 하는 시도는 더욱 조심스럽게 접근하여야 하며, 탄약고 내부의 온도는 그대로 유지하면서 습한 내부의 고온 공기를 저온의 공기로 밀어올려 배출하는 방법이 효과적이라 판단된다.

탄약의 부식을 고려할 때, 탄약고 내부 공기의 상대습도가 60%이하로 유지할 필요가 있음을 제안하였으며, 또한 이러한 연구 결과 탄약고의 환기 체계에 의한 결로문제의 해결방안에서 환기를 강화해야 할 것인가 아니면 환기를 통제할 것인가에 대한 열량의 명확한 기준값을 제시하였다고 판단되며, 이러한 기준을 바탕으로 탄약고 환기체계의 활용에 대한 물리적 해석을 좀더 구체적으로 연구할 필요성이 높다고 생각된다.

참 고 문 헌

[1] 석종욱, 서진석 “수치해석을 이용한 이그루 탄약고의 자연대류 해석”, 육사논문집 제52권, 1997년 6월.

- [2] 이종찬, 서관세 “건축계획 측면에서 고찰한 군 탄약고 결로 방지 연구”, 육사논문집 제54권, 1998년 10월.
- [3] 서관세, 이종찬 “이글루탄약고의 내부온도 상승이 결로 감소에 미치는 영향 연구”, 한국 구조물 진단학회논문집 제2권 2호, 1998년.
- [4] 박병운, 김관우, 곽노열, 손장열 “이글루형 탄약고의 하계 표면결로 평가 및 방지대책에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 16권 5호, pp.123~130, 2000년.
- [5] 이종찬, 김병선 “군 이글루탄약고 결로예방을 위한 설계 개선방안에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 14권 4호 pp.227~234, 1998년.
- [6] 김운영 “이글루 탄약고의 결로 현상에 관한 원인 및 대책연구”, 육군사관학교 화랑대 연구소 연구보고서, 1996년.